سنجش از دور
و
GIS ایران

سنجش از دور و GIS ایران
Iranian Remote Sensing & GIS

سال اول، شماره سوم، پاییز ۱۳۸۸
Vol.1, No.3, Autumn 2009
۹۹-۱۱۴

استفاده از سرویس‌های مکانی تعامل‌پذیر به‌منظور دسترسی و انتشار داده‌های کیفیت هوا

پوریا امیریان*[۱]، علی‌اصغر آل‌شیخ[۲]

۱. دانشجوی دکتری سیستم‌های اطلاعات مکانی (GIS)، دانشکده نقشه‌برداری دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
۲. دانشیار گروه GIS دانشکده نقشه‌برداری دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۸۹/۲/۶ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۸۹/۵/۱۶

چکیده

امروزه در تمامی شهرهای بزرگ دنیا، پایش و کنترل کیفیت هوا به یکی از موضوعات مهم مدیریت شهری و زیست‌محیطی تبدیل گردیده است. دسترسی سریع، و پردازش و تحلیل داده‌های سنجنده‌های آلاینده‌های هوا از موارد مورد نیاز در ارائه راهکارهای مؤثر در کاهش و کنترل آلودگی هوا به‌شمار می‌آیند. وجود شبکه‌ای از سنجنده‌های آلاینده‌های هوا، داده‌های مورد نیاز به‌منظور پالایش آلودگی هوا را فراهم می‌سازند. در این خصوص آنچه باعث عدم دسترسی و ارائه و پردازش نامطلوب داده‌های کیفیت هوا می‌گردد، استفاده نکردن از راه‌حل‌های تعامل‌پذیر در خصوص انتشار، دسترسی و پردازش داده‌هاست. در نوشتار حاضر، استفاده از سرویس‌های مکانی تعامل‌پذیر به‌عنوان راه‌حلی مناسب به‌منظور رفع مشکل مذکور پیشنهاد می‌گردد. در این زمینه ارائه ساختار و فرمت و همچنین روش دسترسی تعامل‌پذیر به داده‌های کیفیت هوا بررسی گردیده است و سامانه‌ای به‌منظور ایجاد سرویس‌های مکانی تعامل‌پذیر با هدف انتشار داده‌های کیفیت هوا ارائه می‌گردد. در پایان مقاله، تعدادی برنامهٔ کاربردی به‌منظور آزمون تعامل‌پذیری سرویس‌های ایجادشده، پیاده‌سازی می‌گردد.

کلیدواژه‌ها: سامانه‌های اطلاعات مکانی، سرویس‌های مکانی، تعامل‌پذیری، پایش کیفیت هوا.

* نویسنده مکاتبه‌کننده: تهران، خیابان ولیعصر (عج)، تقاطع میرداماد، دانشکده نقشه‌برداری دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، گروه GIS، تلفکس: ۸۸۷۸۶۲۱۲
Email: PouriaAmirian@gmail.com

۱- مقدمه

آلودگی هوا و تأثیرات ناشی از آن بر روی سلامت شهروندان از مهمترین دغدغه‌های شهروندان، برنامه‌ریزان و تصمیم‌گیران شهری به‌شمار می‌آید (Sohrabinia and Khorshiddoust, 2007). کلان‌شهر تهران در زمرهٔ آلوده‌ترین شهرهای بزرگ جهان قرار دارد. علاوه بر منابع آلاینده فراوان، جغرافیای این شهر نیز اغلب باعث ایجاد پدیده وارونگی هوا در فصل زمستان می‌گردد و به علت نبود بادهای دائمی، این وارونگی به سهولت از بین نمی‌رود. از طرف دیگر، وجود لایهٔ نسبتاً ضخیمی از گرد و غبار و ذرات معلق در هوای این شهر تقریباً پدیده‌ای دائمی است. یکی از راهکارهای عملی به‌منظور ارائه راهکارها و مدیریت مشکل آلودگی هوای شهر تهران، استفاده از شبکه‌ای از سنجنده‌های پایش آلودگی هواست که به‌وسیله شبکه‌های ارتباطی به یکدیگر متصل‌اند. امروزه وجود چنین شبکه‌هایی به همراه استفاده از فناوری‌های جدید ارتباطی و اطلاعاتی سبب پیدایش زیرساخت لازم به منظور جمع‌آوری، انتقال، پردازش و انتشار داده‌های مختلف مرتبط با آلودگی هوا شده است (Robinson et al., 2005). به‌منظور استفاده از پتانسیل بالای داده‌های تولیدشده به‌وسیله شبکهٔ سنجنده‌های پایش آلودگی هوا، می‌بایست سازوکار انتشار و دسترسی برای این داده‌ها به‌گونه‌ای فراهم گردد که تمامی استفاده‌کنندگان بتوانند با کمترین خطا و به‌صورت استاندارد به داده‌های مذکور دسترسی داشته باشند.

۲- بیان مسئله و پیش‌زمینه تحقیق

در شهر تهران، شبکه‌ای از سنجنده‌های پایش کیفیت هوا در مناطق مختلف مستقر گردیده‌اند. در این شبکه ایستگاه‌های مستقر در فرهنگسرای بهمن، میدان تجریش، قلهک، سرخه‌حصار، میدان آزادی، پردیسان و ویلا متعلق به سازمان حفاظت محیط زیست و ایستگاه‌های موجود در اقدسیه، شهرری، ژئوفیزیک، پارک ترافیک، پارک رز، گلبرگ، مسعودیه و استانداری تحت نظر شرکت کنترل کیفیت هوا مشغول فعالیت‌اند. ایستگاه‌های پایش، به‌صورت منظم اقدام به جمع‌آوری داده‌های کیفیت هوا می‌کنند و داده‌های جمع‌آوری‌شده را به یک ایستگاه مرکزی انتقال می‌دهند. در ایستگاه مرکزی پس از انجام آزمون‌های آماری به‌منظور یافتن خطاهای فاحش در داده‌ها و حذف آنها، مقدار شاخص کیفیت هوا[1] (AQI) محاسبه می‌گردد. شاخص کیفیت هوا که از سوی آژانس حفاظت محیط زیست ایالات متحد امریکا[2] معرفی شده، کیفیت کلی هوا را برمبنای پارامترهای مختلف آلایندگی بیان کرده است و به‌منظور اطلاع‌رسانی کیفیت هوا به شهروندان به کار می‌رود (Cheng et al., 2007). مقدار شاخص کیفیت هوا از میزان دی‌اکسید گوگرد، دی‌اکسید نیتروژن، ازن، مونوکسید کربن و ذرات معلق موجود در هوا محاسبه می‌گردد. پس از محاسبهٔ مقدار شاخص کیفیت هوا، کیفیت هوا در یکی از کلاس‌های پاک، سالم، ناسالم، بسیار ناسالم و خطرناک تعیین می‌گردد و به اطلاع شهروندان و برنامه‌ریزان شهری رسانده می‌شود.

هم‌اینک شرکت کنترل کیفیت هوای تهران که یکی از شرکت‌های وابسته به شهرداری تهران است و نیز دفتر بررسی آلودگی هوا، تحت نظر سازمان حفاظت محیط زیست، مسئولیت جمع‌آوری، پردازش و مدیریت داده‌های سنجنده‌های پایش کیفیت هوا را برعهده دارند. هر دو این ارگان‌ها از صفحات وب ایستا (بدون تعامل با کاربر) و نیز فایل‌های آماری قابل بارگذاری[3]، به‌منظور ارائه نقشه‌ها و اطلاعات آماری مربوط به آلودگی هوا بر مبنای آخرین اطلاعات سنجنده‌ها، استفاده می‌کنند (http://air.tehran.ir). با وجود اینکه ارائه نقشه‌ها و اطلاعات آماری بر روی وب‌سایت، مناسب کاربران انسانی (شهروندان، برنامه‌ریزان و

1. Air Quality Index (AQI)
2. Environmental Protection Agency
3. Download

تصمیم‌گیران شهری) است، استفاده از این اطلاعات به‌منظور تحلیل و یا تلفیق با سایر اطلاعات نیازمند وارد کردن دستی داده‌ها در فرمت‌های اختصاصی نرم‌افزارهای مختلف است. چنین روالی باعث دخالت عامل انسانی در فرایندهای مختلف ورود، ذخیره‌سازی و پردازش اطلاعات می‌گردد و درنتیجه اتلاف زمان، خطر نسبتاً بالای ایجاد اشتباه در ارائه نتایج را در پی خواهد داشت. با توجه به استفاده‌کنندگان بسیار بالای اطلاعات مرتبط با کیفیت هوا (کارشناسان شهرداری و ارگان‌های وابسته، بخش دولتی، بخش خصوصی، بخش دانشگاهی و شهروندان) و تعدد و تفاوت سامانه‌های نرم‌افزاری که می‌بایست مورد استفاده قرار گیرند، بهتر است داده‌های مرتبط با کیفیت هوا به‌گونه‌ای تعامل‌پذیر بر روی شبکه جهانی وب دست‌یافتنی شوند که سامانه‌های نرم‌افزاری ـ بدون دخالت عامل انسانی ـ قابلیت تعامل و ارتباط آنی[1] را با یکدیگر داشته باشند. به‌عبارت دیگر، چالش‌ها و نیازمندی‌های جدید در زمینه مدیریت داده‌های کیفیت محیط زیست انسان (مانند داده‌های کیفیت هوا)، تعامل‌پذیری را به منظور دسترسی، تلفیق و به اشتراک‌گذاری داده‌های مذکور بیش از پیش ضروری ساخته‌اند (Frehner and Brändlia, 2006). لازم به ذکر است که در خصوص استفاده از فناوری‌های امروزین مرتبط با سامانه‌های اطلاعاتی و سنجش از دور در جهت استخراج داده‌های کیفیت هوا و مطالعات مرتبط با آن، تا به حال پژوهش‌های ارزشمندی در سطح دنیا و کشور ایران انجام شده است. در پژوهشی که در سال ۲۰۰۷ به چاپ رسیده، از تصاویر سنجنده MODIS و نیز توابع آنالیز مکانی[2] مختلف، به‌منظور ارزیابی تراکم و پراکنش آلاینده‌های مختلف در شهر تهران استفاده شده است (Sohrabinia and Khorshiddoust, 2007). در پژوهش دیگری که در کل قاره اروپا انجام شده، از مدلی خاص (با متغیرهای مختلفی از جمله آمار سالانه آلاینده‌های مختلف، آمار ترافیک، پوشش زمین، جمعیت، راه‌های دسترسی و مانند اینها) در قالب ابزارهای سامانه‌های اطلاعات مکانی برای تولید نقشه‌های با رزولوشن بالا در مورد آلاینده‌های مختلف استفاده شده است (Vienneau et al., 2009). در پژوهش‌های ذکر شده، خروجی تنها به‌صورت نقشه و یا اطلاعات آماری ارائه گردیده و در هیچ‌یک از آنها موضوع تعامل‌پذیری و دسترسی به داده‌های کیفیت هوا با در نظر گرفتن استانداردهای مطرح در دنیای اطلاعات مکانی به میان نیامده است.

در یکی از پژوهش‌هایی که در سال ۲۰۰۹ منتشر شده، چارچوبی برمبنای فناوری‌های Web Services طراحی و پیاده‌سازی شده است که به کمک آن، داده‌های سنجنده‌های مرتبط با پدیده‌های محیط زیستی به‌صورتی منسجم و مستقل از سکوهای نرم‌افزاری قابل ارائه و انتشارست (Horsburgha et al., 2009). در پژوهش حاضر، از ساختاری به‌منظور انتشار داده‌های محیط زیستی به‌صورت عوارض نقطه‌ای استفاده شده است. ساختار مذکور با استفاده از مجموعه‌ای از ابزارها سعی در کاهش تعامل‌ناپذیری دارد. با وجود این به علت استفاده نکردن از استانداردها و دستورالعمل‌های مطرح در دنیای اطلاعات مکانی (مانند دستورالعمل‌های مطرح‌شده از سوی OGC[3])، روش مذکور استاندارد نیست.

در پژوهشی که در دانشگاه جرج میسون[4] انجام شده است، از تلفیقی از سامانه‌های استاندارد سازمان OGC به‌منظور ارائه داده‌های سنجنده‌های مختلف استفاده شده است (Chena et al., 2009). در پژوهش حاضر، ارتباط و تلفیق تعداد نسبتاً زیادی سرویس استاندارد در نظر گرفته شده و از این نظر کار بسیار عظیم و ارزشمندی انجام شده است. با وجود این، در پژوهش مذکور استفاده از داده‌های سنجنده‌های مختلف با تأکید بر استفاده‌کنندگان نرم‌افزاری در نظر

1. Online
2. Spatial Analysis
3. Open Geospatial Consortium
4. George Mason

گرفته شده و به ایجاد نتایج برای کاربر انسانی پرداخته نشده است. به عبارت دیگر، سرویس‌های مورد استفاده در این پژوهش تأکید بر دسترسی به اطلاعات سنجنده‌ها با سطح جزئیات کامل داشته و در آن ایجاد خروجی تصویری (که در بسیاری موارد اساس تصمیم‌گیری‌های اولیه مدیران را تشکیل می‌دهد) در نظر گرفته نشده است.

پژوهش حاضر چارچوبی به‌منظور دسترسی و انتشار داده‌های کیفیت هوا به صورت تعامل‌پذیر بر روی شبکه جهانی وب ارائه می‌دهد. تعامل‌پذیری در چارچوب مذکور از طریق استفاده از استانداردها و دستورالعمل‌های OGC فراهم می‌گردد. نقطه تمایز پژوهش حاضر با تحقیقات و پژوهش‌های انجام شده در این خصوص، استفاده از استانداردهای OGC (به‌ویژه WMS، WFS، GML و O&M) در جهت انتشار و دسترسی به داده‌های سنجنده‌های کیفیت هوا برمبنای ساختاری استاندارد و توسعه‌پذیر است، که امکان استفاده از داده‌های کیفیت هوا را هم به‌صورت تصویری و هم با جزئیات کامل در اختیار قرار می‌دهد. در نوشتار حاضر، پس از بحث در مورد تعامل‌پذیری و لزوم ایجاد آن، اجزای چارچوب پیشنهادی معرفی گردیده، و سیستمی برمبنای آن توسعه و شرح داده شده است.

۳- تعامل‌پذیری در دسترسی و انتشار داده‌های کیفیت هوا

داده‌های به‌دست آمده از سنجنده‌های پایش کیفیت هوا، از لحاظ علمی دارای ارزش بسیار بالایی هستند، اما به علت تعامل‌ناپذیری‌شان، به‌صورت کارا و بهینه مورد استفاده قرار نمی‌گیرند. دو مشکل اساسی در زمینه دسترسی و انتشار این داده‌ها عبارت هستند از:

- نبود فرمت و ساختار استاندارد برای انتقال و به اشتراک‌گذاری داده‌ها میان سیستم‌های مختلف (نبود تعامل‌پذیری داده‌ای[1]).
- نبود سازوکار استاندارد به‌منظور دسترسی نرم‌افزاری به داده‌ها در محیط‌های محاسباتی (نبود تعامل‌پذیری دسترسی[2]).

به‌منظور انتقال و به اشتراک‌گذاری داده‌های کیفیت هوا از هر فرمتی می‌توان استفاده کرد، اما برای دستیابی به تعامل‌پذیری داده‌ای می‌بایست فرمت و دستورالعمل باز[3]، مستقل از سکو[4] و استاندارد را به کار گرفت. تعامل‌پذیری داده‌ای به معنی آن است که داده‌های یک سامانهٔ نرم‌افزاری (مانند داده‌های سنجنده‌های کیفیت هوا) در سامانه‌های نرم‌افزاری دیگر با حداقل دخالت عامل انسانی و فارغ از فرمت‌های خاص نرم‌افزارهای مختلف قابل استفاده باشند. از سوی دیگر، فرمت و ساختار استاندارد به‌منظور انتقال و به اشتراک‌گذاری داده‌ها، نیازمند سازوکار استاندارد برای دسترسی به سرویس‌هایی به‌منظور بازیابی این داده‌هاست. به‌عبارت دیگر تعامل‌پذیری دسترسی، فراهم‌کننده روش‌های استاندارد و مستقل از پیاده‌سازی‌های نرم‌افزاری برای دسترسی به داده‌های سامانهٔ نرم‌افزاری است. بنابراین برای استفاده بهینه از داده‌های به‌دست آمده از سنجنده‌های کیفیت هوا می‌بایست از روش‌های استاندارد به‌منظور دسترسی به داده‌ها در فرمت و ساختار استاندارد استفاده کرد. در پژوهش حاضر، استفاده از سرویس‌های مکانی مطرح شده از سوی کنسرسیوم OGC به‌منظور فراهم کردن روش‌های استاندارد دسترسی به پایگاه دادهٔ پارامترهای کیفیت هوا پیشنهاد می‌گردد. سرویس‌های مکانی مطرح شده از سوی OGC جزئی از چارچوبی هستند که هدفش فراهم ساختن تعامل‌پذیری به‌صورت کامل میان تمامی سیستم‌های نرم‌افزاری مرتبط با داده‌های مکانی است (Zhang et al., 2007). سرویس‌های مطرح شده در چارچوب مذکور، از سوی واسط‌های استاندارد و به‌صورت مستقل از سکوهای نرم‌افزاری تعریف می‌گردند (Lake et al., 2004). پیاده‌سازی واسط‌های

1. Data non-Interoperability
2. Access non-Interoperability
3. Open
4. Platform Independent

استاندارد به‌وسیلهٔ فناوری‌های مختلف نرم‌افزاری از قبیل Java و NET امکان‌پذیر است. اما به‌دلیل استفاده از زیرساخت وب در ایجاد ارتباط میان سیستم‌ها و استفاده از واسط استاندارد، سرویس‌ها می‌توانند به‌صورت خودکار و فارغ از خصوصیات پیاده‌سازی سکوهای نرم‌افزاری با یکدیگر تعامل داشته باشند. جزء مهم دیگری از چارچوب مطرح شده به‌وسیلهٔ OGC، فرمت‌های استاندارد است. فرمت‌های استاندارد به‌منظور انتقال داده‌های مکانی، ایجاد پیام‌های ارتباطی میان سرویس‌های مکانی و تعریف پرسش و پاسخ به‌صورت استاندارد طراحی شده‌اند.

۴- انتقال و به اشتراک‌گذاری داده‌های سنجنده‌های پایش کیفیت هوا

سامانه‌های اطلاعات مکانی[1] (GIS) با استفاده از ابزارها و مدل‌هایی که در اختیار دارند، داده‌های خام به‌دست آمده از سنجنده‌های مختلف را به اطلاعات کاربردی برای برنامه‌ریزان و تصمیم‌گیران تبدیل می‌سازند (Longley et al., 2005). در GIS، اغلب عوارض مکانی (مانند سنجنده) و روابط میان عوارض، با فرض ثابت بودن خصوصیات عوارض در طول زمان، مدل‌سازی می‌گردند. به‌عبارت دیگر در اغلب مدل‌های متداول و مرسومی که در سامانه‌های اطلاعات مکانی به‌منظور مدل‌سازی پدیده‌ها و عوارض طبیعی به‌کار برده می‌شوند، تغییرات زمانی عوارض (از نظر هندسی و یا توصیفی) نادیده گرفته می‌شوند. دلیل مسئله مذکور این است که اغلب پدیده‌ها و عوارض مکانی، شناسه و موقعیت‌شان را در بازه‌های زمانی بسیار طولانی حفظ می‌کنند. به‌عبارت دیگر، واحد پایه در ذخیره‌سازی و نمایش، عارضه مکانی[2] در نظر گرفته می‌شود. از این رو نمایش و مدل‌سازی تغییرات زمانی پدیده‌ها و عوارض غالباً در کاربردهای عمومی سامانه‌های اطلاعات مکانی در نظر گرفته نمی‌شوند (Drummond et al., 2007). در صورت نیاز به ذخیره‌سازی و نمایش تغییرات زمانی پدیده‌ها و عوارض مکانی (از قبیل اندازه‌گیری مقادیر پارامترهای کیفیت هوا در زمان‌های مختلف برای یک ایستگاه پایش)، لایه‌ای جدید از اطلاعات مکانی ایجاد می‌شود و مقادیر جدید خصوصیات (هندسی و یا توصیفی) جایگزین مقادیر قبلی می‌گردند (Langran, 2003). روش مذکور کاملاً در راستای مفهوم مدل‌سازی تصویر لحظه‌ای از اشیا مکانی[3] قرار دارد (Worboys, 2005). با استفاده از تصویر لحظه‌ای اشیا مکانی می‌توان نمایش مناسبی از وضعیت پدیده‌ها و عوارض مکانی در زمانی مشخص به‌وجود آورد. با این حال، مدل تصویر لحظه‌ای اشیا مکانی امکان نمایش رویدادها و تغییرات را به شکل یکپارچه (نمایش یک عارضه در زمان‌های مختلف یا به‌عبارت دیگر نمایش زمانمند پدیده‌ها) فراهم نمی‌آورد. (Worboys, 2005).

مدل‌های رویداد ـ مبنا[4] با در نظر گرفتن رویداد به‌عنوان واحد پایه ذخیره‌سازی و نمایش پدیده‌ها، تغییرات زمانی را به شکل مطلوب مدل‌سازی می‌کنند. استفاده از مدل‌های رویداد ـ مبنا امکان ذخیره‌سازی و نمایش رفتار پویای پدیده‌های مکانی، تحقیق در روابط پیچیده میان پدیده‌ها، بررسی تأثیرات مختلف پدیده‌ها بر یکدیگر در طول زمان و ارائه فرضیه‌های جدید در زمینه تغییرات پدیده‌ها و عوارض مکانی را فراهم می‌آورد (Langran, 2003). در پژوهش حاضر، داده‌های پارامترهای اندازه‌گیری شده به‌وسیلهٔ سنجنده‌های پایش کیفیت هوا، به‌صورت سری‌های زمانی ـ مکانی و برمبنای مدل رویداد ـ مبنا مدل‌سازی گردیدند. در فرایند مذکور، داده‌های اندازه‌گیری‌شده به‌وسیلهٔ سنجنده‌های مختلف، به شکل موقعیت‌های ثابتی که در آنها تعدادی پارامتر در بازه‌های منظم اندازه‌گیری می‌شوند، درمی‌آیند. اندازه‌گیری‌های مختلف پارامترها، یک یا چند سری زمانی را تشکیل می‌دهند. با توجه به موقعیت ثابت ایستگاه‌های پایش، موقعیت ایستگاه‌ها در

1. Geospatial Information Systems
2. Feature
3. Spatial Snapshot Model
4. Event-Based Model

واقع سری مکانی را تشکیل می‌دهد و در نتیجه هر سنجندهٔ موجود در ایستگاه پایش یک مقدار ثابت (موقعیت) از سری‌های زمانی (اندازه‌گیری‌ها در بازه‌های زمانی مختلف) را به‌وجود می‌آورد. مشاهدات پارامترهای کیفیت هوا در ایستگاه‌های پایش در این تحقیق به‌صورت $(AP_i, t_j, S_k)_M$ مدل‌سازی گردیدند که در آن AP_i پارامترهای اندازه‌گیری‌شدهٔ کیفیت هوا در زمان‌های t_j و به‌وسیله سنجنده S_k در ایستگاه پایش M است. در پژوهش حاضر، دستورالعمل O&M[1] کنسرسیوم OGC به‌منظور پیاده‌سازی مدل مذکور مورد استفاده قرار گرفت. دستورالعمل O&M حاوی ابزارها و ساختار عمومی، مناسب و مستقلی برای مدل‌سازی مشاهدات مختلف است. از این رو با استفاده از این دستورالعمل نیازی به در نظر گرفتن خصوصیات متفاوت سنجنده‌های مختلف و ماهیت پدیده‌های مشاهداتی و همچنین فرمت خاص ذخیره‌سازی هر یک از سنجنده‌های مختلف وجود نخواهد داشت [Cox, 2006].

در دستورالعمل O&M، هر اندازه‌گیری می‌تواند به‌صورت یک رویداد مدل شود. با استفاده از چنین قابلیتی می‌توان اندازه‌گیری کیفیت هوا را به رویدادی که در یک مکان (ایستگاه پایش) اتفاق افتاده است، مدل‌سازی بهینه و زمانمند کرد. به‌علاوه، تلفیق داده‌های مختلف مشاهداتی که در بازه‌های زمانی متفاوت با یکدیگر جمع‌آوری شده‌اند نیز سهولت می‌یابد (Botts et al., 2006). با توجه به وجود مؤلفه مکان برای مشاهدات مختلف، می‌بایست از دستورالعمل یا استاندارد مناسبی به‌منظور مدل‌سازی و بیان مکان ایستگاه‌های پایش به‌صورت تعامل‌پذیر استفاده کرد. مناسب‌ترین دستورالعمل در این زمینه GML[3] است (Lake, 2005). دستورالعمل GML نیز مانند O&M برمبنای زبان XML[3] شرح و بسط یافته است. GML ابزارها و المان‌های استاندارد بیان مکان و اطلاعات توصیفی عوارض مختلف را فراهم می‌کند (مانند روش تعریف هندسه، سامانهٔ تصویر، نوع داده اطلاعات هندسی و توصیفی). GML امروزه به‌عنوان استاندارد جهانی انتقال و به اشتراک‌گذاری داده‌های مکانی میان سامانه‌های نرم‌افزاری مکانی مطرح شده است (Lake, 2005).

در پژوهش حاضر به‌منظور مدل‌سازی مشاهدات و اندازه‌گیری‌های سنجنده‌های کیفیت هوا با در نظر گرفتن مدل رویداد ـ مبنا از O&M به همراه GML استفاده گردید. در این راستا ساختاری توسعه‌پذیر با تکیه بر مدل رویداد ـ مبنا طراحی گردید تا به کمک آن پایگاه دادهٔ پارامترهای کیفیت هوا ایجاد گردد.

۵- دسترسی به داده‌های سنجنده‌های پایش کیفیت هوا

استفاده از O&M و GML به‌منظور ایجاد پایگاه داده و همچنین فرمت تبادل پارامترهای کیفیت هوا، روش مناسبی را برای انتقال داده‌ها فراهم می‌کند. به‌منظور دسترسی به پایگاه داده، می‌بایست از روش‌های دسترسی استانداردی استفاده شود تا سامانه‌های نرم‌افزاری مختلف بتوانند داده‌های مورد نیاز را به‌صورت استاندارد بازیابی کنند. روش‌های استاندارد دسترسی به داده‌ها در پژوهش حاضر از طریق پیاده‌سازی سرویس‌های مکانی استاندارد ایجاد می‌گردد. این سرویس‌ها امکان بازیابی داده‌های مورد نیاز را به دو صورت فراهم می‌آورند: ارسال تصویری از اطلاعات (ایجاد تصویری از اطلاعات و ارسال آن تصویر)، و ارسال کامل اطلاعات (ایجاد فایلی با ساختار مشخص حاوی کلیه جزئیات هندسی و توصیفی اطلاعات و ارسال آن فایل). بسیاری از سامانه‌های نرم‌افزاری تنها نیاز به بازیابی تصویری از اطلاعات موجود در پایگاه داده دارند (دسترسی تصویری) و برخی از سامانه‌های دیگر هم نیازمند دسترسی به کلیه اطلاعات پارامتر و

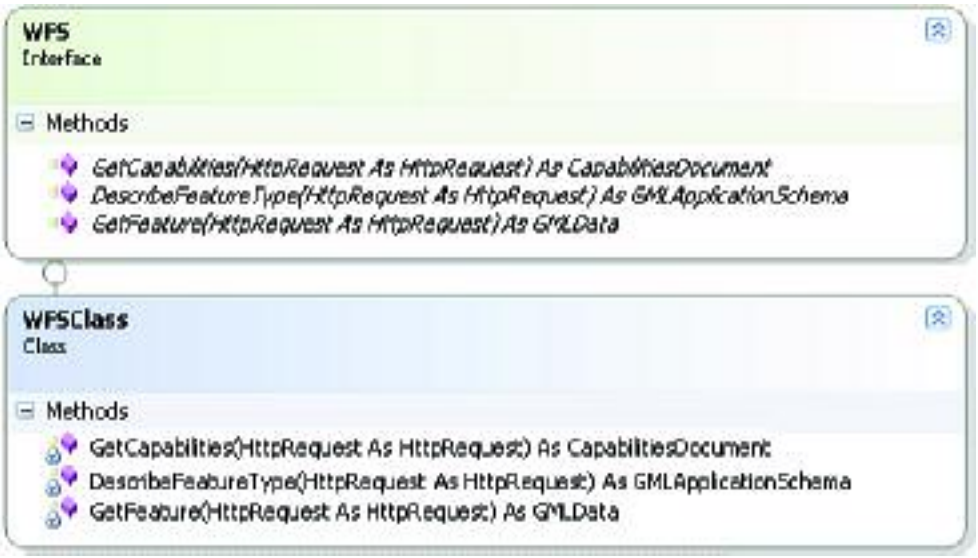
1. Observation and Measurements
2. Geography Markup Language
3.Extensible Markup Language

یا سنجنده خاصی برمبنای شرایط معرفی‌شده هستند (دسترسی کامل اطلاعاتی). برمبنای سرویس‌های استاندارد مطرح شده در چارچوب OGC، در پژوهش حاضر دسترسی تصویری از طریق سرویس WMS[1] و دسترسی کامل اطلاعاتی از طریق سرویس WFS[2] ایجاد می‌گردد.

سرویس WFS، دسترسی به اطلاعات مکانی (هم خصوصیات هندسی و هم خصوصیات توصیفی) در فرمت GML را فراهم می‌آورد (OGC, 2005). زمانی که درخواست‌کننده[3]، درخواستی را به WFS ارسال می‌کند، WFS برمبنای شروط معرفی‌شده در متن درخواست، داده‌های مکانی را از پایگاه داده بازیابی می‌کند و در فرمت GML به درخواست‌کننده برمی‌گرداند (OGC, 2005).

در حالت اصلی و اولیه، هر سرویس WFS می‌بایست سه عملیات[4] را پیاده‌سازی کند. شکل (۱)، دیاگرام Class را به همراه Interface مربوط به آن (مطابق با استاندارد UML Class Diagram) نمایش می‌دهد.

به‌منظور کسب اطلاعات کلی در مورد سرویس WFS، درخواست‌کننده (که معمولاً سامانه‌ای نرم‌افزاری است) ابتدا درخواست Get Capabilities را به WFS ارسال می‌کند. سرویس WFS نیز در پاسخ، سند استانداردی را با نام Capabilities Document که حاوی اطلاعات مورد نیاز به‌منظور استفاده از سرویس مذکور است (شامل نام لایه‌ها اطلاعاتی، شرایط استفاده، ویرایش استاندارد مورد استفاده و مانند اینها) به درخواست‌کننده بازمی‌گرداند.



شکل ۱. سه عملیات سرویس WFS (سه عملیات به همراه نام، نوع داده ورودی و نوع داده خروجی برای یک WFS با استفاده از UML Class Diagram نمایش داده شده است)

1. Web Map Service
2. Web Feature Service
3. Client
4. Operation

برمبنـــای اطلاعـــات موجـــود در Capabilities Document درخواســت‌کننـــده بـه‌منظـور آگـاهی از سـاختار یـک یـا چنـد لایـهٔ اطلاعـاتی عملیـات دوم (Describe Feature Type) را آغـاز مـی‌کنـد. در ایـن مرحله سرویس، ساختار و خصوصیات لایه یا لایـه‌هـای اطلاعاتی را که در مـتن درخواسـت مـشخص شـده‌انـد (ماننـد نـام فیلـدهای اطلاعـاتی، نـوع داده فیلـدهای اطلاعاتی، محدوده مکانی لایه اطلاعاتی و ماننـد اینهـا) به درخواست‌کننده مطابق با ساختار GMLApplication Schema ارسال می‌دارد. پس از اطـلاع از ویژگـی‌هـای لایـه‌هـای اطلاعـاتی، در عملیـات سـوم (بـا نـام Get Feature)، داده‌های مکانی به‌صـورت GML از سـرویس WFS بازیابی می‌شوند. برمبنای اطلاعاتی که از عملیات دوم به‌دست می‌آید، عملیـات سـوم (بازیـابی داده‌هـای مکانی) می‌تواند بـا معرفـی شـروط توصـیفی و مکـانی مختلفی برای بازیـابی زیرمجموعـه‌ای از کـل اطلاعـات صورت پذیرد. سـه عملیـات مـذکور، بازیـابی داده‌هـای مکانی را با معرفی شروط مختلف بـه‌صـورت مناسـب و مستقل از زبان و فنـاوری خاصـی تحقـق مـی‌بخـشند. معمولاً منبع اطلاعاتی سرویس WFS یـک پایگـاه داده مکانی است. سرویس WFS مـی‌توانـد از سـرویس‌هـای WFS دیگر نیز به‌عنوان منبع اطلاعاتی اسـتفاده کنـد، که این مورد می‌تواند در محیط‌های تعاملی بسیار مفید باشد.

به‌منظور بازیابی تصویر داده‌های مکانی از سـرویس WMS اسـتفاده مـی‌گـردد (OGC, 2006). سـرویس WMS در حالـت پایـه مـی‌بایـست دو عملیـات را پیاده‌سازی کند (شکل ۲).

هدف عملیات اول در WMS مانند سـرویس WFS اسـت، بـه گونـه‌ای کـه بـه‌منظـور اطـلاع از لایـه‌هـای اطلاعاتی کـه سـرویس مـی‌توانـد آنهـا را ارائـه دهـد و شرایطی که درخواست‌کننده می‌بایست برای استفاده از سـرویس رعایـت کنـد از طریـق عملیـات اول (Get Capabilities) به درخواست‌کننده اطلاع داده می‌شـود. عملیـات دوم (Get Map) بـرای بازیـابی تـصویر از داده‌هـای مکـانی بـه کـار مـی‌رود، بـدین ترتیـب کـه درخواسـت‌کننـده بـا مـشخص کـردن نـام لایـه‌هـای اطلاعاتی، محدودهٔ مکانی نقـشه و فرمـت فایـل تـصویر درخواستی (مانند Png, Jpg و ...) را به سرویس WMS ارسال می‌کند و سـرویس WMS برمبنـای پارامترهـای مشخص شده در متن درخواسـت، نقـشه (تـصویری بـا فرمـت رسـتری و یـا بـرداری) را تولیـد مـی‌کنـد و بـه درخواسـت‌کننـده ارسـال مـی‌دارد. سـرویس WMS می‌تواند از یک پایگاه داده مکانی، سرویس‌های WFS و حتی سرویس‌های WMS دیگر به‌عنوان منبع اطلاعاتی استفاده کند (OGC, 2006).

شکل ۲. دو عملیات یک سرویس WMS

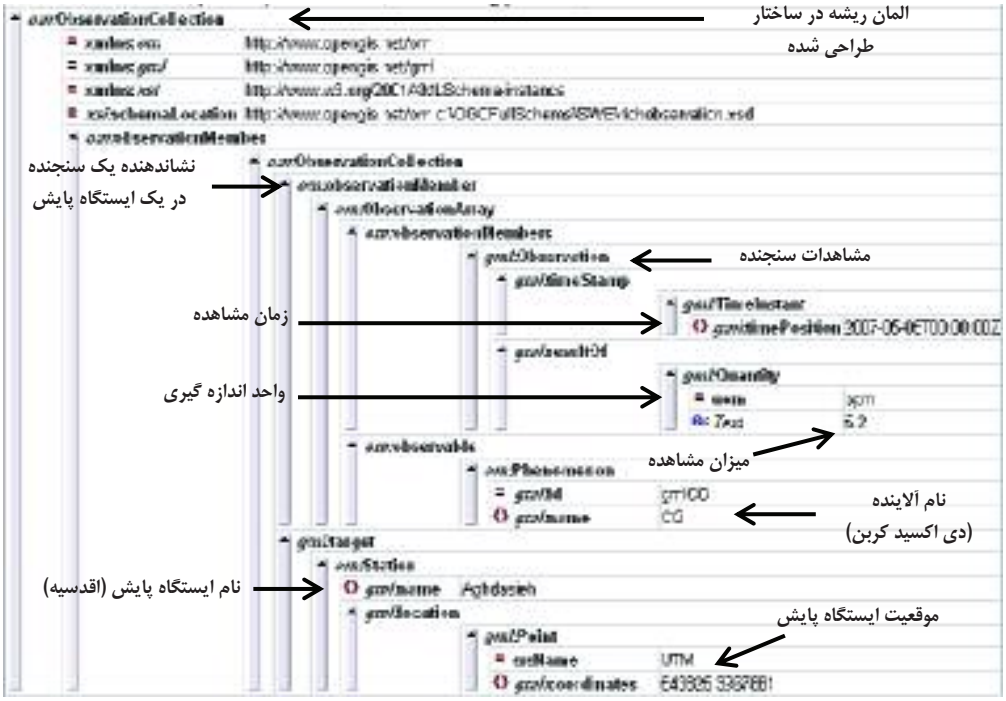
(در اینجا یک Class و Interface مربوط به آن نشان‌دهندهٔ نام متدها، نوع داده ورودی و نوع داده خروجی هستند)

کلیه اطلاعات لازم به‌منظور تعامل میان درخواست‌کننده و سرویس مکانی WFS و یا WMS مانند پارامترهای مجاز درخواست، روش ارسال درخواست و روش معرفی شروط مختلف برای بازیابی داده‌های مکانی، در دستورالعمل استاندارد سرویس‌های مکانی مشخص شده‌اند و بدین ترتیب این دو سرویس روش استاندارد و مشخصی را برای دسترسی به داده‌های موجود در پایگاه دادهٔ پارامترهای کیفیت هوا در دو سطح تصویر و اطلاعات کلی فراهم می‌سازند.

۶- پیاده‌سازی

در پژوهش حاضر به‌منظور پیاده‌سازی سامانه‌ای به‌منظور انتشار و دسترسی تعامل‌پذیر داده‌های سنجنده‌های کیفیت هوا سه مرحله در نظر گرفته شد: مدل‌سازی مشاهدات، ایجاد پایگاه داده و طراحی و پیاده‌سازی نرم‌افزاری.

در مرحله مدل‌سازی مشاهدات، برمبنای ابزارهای فراهم شده در استاندارد O&M و GML، ساختاری برای توصیف کلیه جنبه‌های مکانی، توصیفی و زمانی مشاهدات کیفیت هوا، برمبنای مدل رویداد ـ مبنا طراحی گردید. همان‌گونه که پیش‌تر اشاره گردید، مشاهدات پارامترهای کیفیت هوا، در ایستگاه‌های پایش در این تحقیق به‌صورت $(APi, tj, Sk)_M$ مدل‌سازی گردیدند. با کمک فناوری XSD[1] مدل مورد نظر پیاده‌سازی گردید (شکل ۳). فناوری XSD که یکی از فناوری‌های خانواده XML به‌شمار می‌آید، برای تعریف ساختارهای اطلاعاتی به‌کار می‌رود. فناوری XSD با کمک مجموعه‌ای از انواع داده‌های استاندارد (عددی، متنی، تاریخی و ...) و همچنین تعدادی روش برای برقراری ارتباط میان المان‌های اطلاعاتی و اعتبارسنجی آنها می‌تواند ساختارهای پیچیده اطلاعاتی را مدل‌سازی کند.



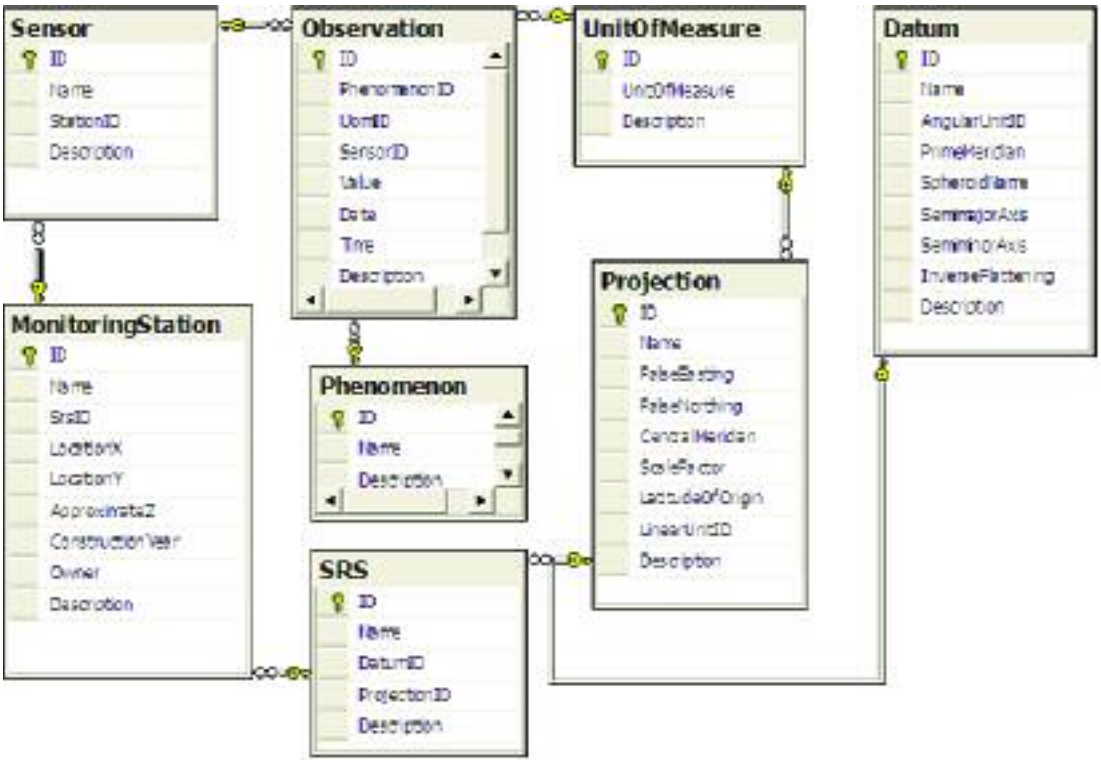
شکل ۳. ساختار طراحی‌شده با استفاده از XSD به‌منظور مدل‌سازی مشاهدات برمبنای استانداردهای GML و O&M

1. Extensible Schema Definition Language

در شکل ۳ مکان سنجنده، زمان اندازه‌گیری، میزان و واحد اندازه‌گیری پارامتر منوکسید کربن برای ایستگاه پایش اقدسیه ارائه شده است. همان‌گونه که در شکل مشخص است، موقعیت، واحدهای اندازه‌گیری زمان و سامانهٔ تصویر به‌وسیله استاندارد GML و بیان خصوصیات زمانی و ارتباط مشاهدات با سنجنده و ایستگاه پایش به‌وسیله استاندارد O&M فراهم شده است. هر جا که در این مدل از حروف پیشوند om استفاده شده است نشان‌دهنده استفاده از استاندارد O&M و هر جا از حروف پیشوند gml استفاده شده است نشان‌دهنده استفاده از استاندارد GML است.

ساختار طراحی شده برمبنای XSD، به‌منظور ایجاد پایگاه دادهٔ پارامترهای کیفیت هوا مورد استفاده قرار گرفت. این پایگاه داده با کمک سامانهٔ مدیریت پایگاه داده SQL Server 2005 ایجاد گردید. مدل رابطه‌ای جدول پایگاه داده مذکور، در شکل ۴ نمایش داده شده است.

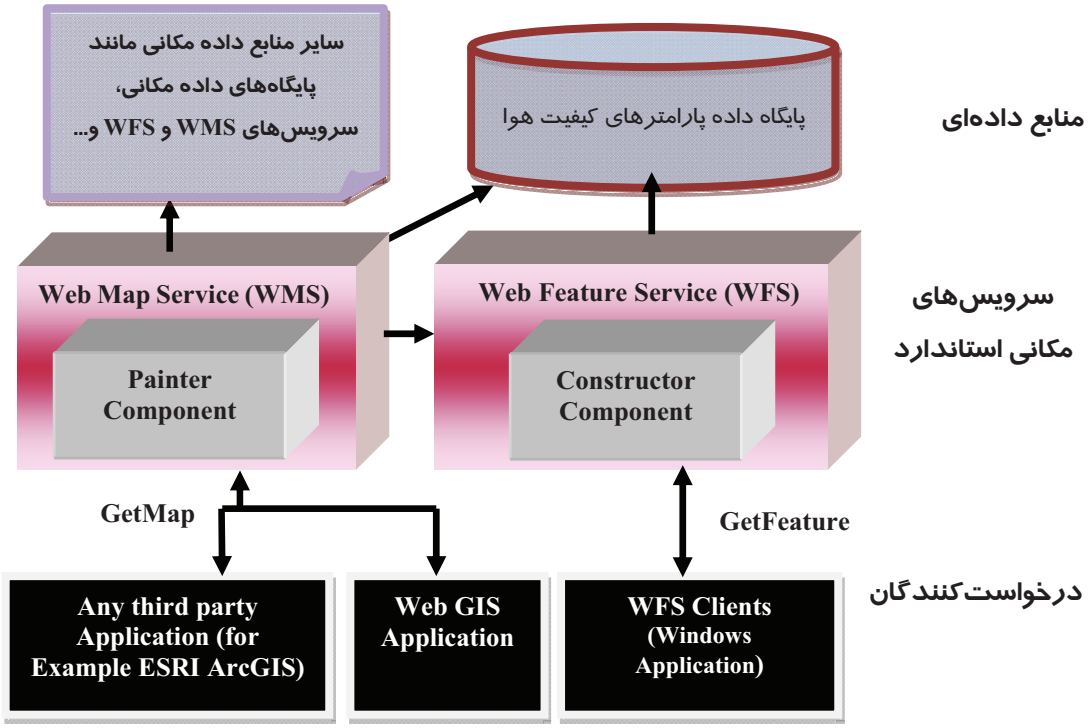
به‌منظور بارگذاری داده‌های سنجنده‌های کیفیت هوا، برنامهٔ کاربردی بارگذاری با استفاده از زبان برنامه‌نویسی Visual Basic 2005 ایجاد گردید. با استفاده از این برنامه کاربردی، مشاهدات هر یک از سنجنده‌ها به‌صورت ساعتی در پایگاه داده پارامترهای کیفیت هوا، بارگذاری می‌شوند و در نتیجه پایگاه داده مذکور کاملاً بهنگام نگهداری می‌شود. به‌منظور بارگذاری خودکار داده‌های ارسالی از ایستگاه‌های مختلف به ایستگاه مرکزی در پایگاه داده، این برنامه کاربردی به‌صورت Windows Service بر روی سرور مرکزی ایستگاه مرکزی پایش پیاده‌سازی می‌گردد تا به محض ارسال داده‌ها به سرور مرکزی، عملیات بارگذاری داده‌های ارسالی در پایگاه داده انجام شود.



شکل ۴. ساختار رابطه‌ای جدول‌های پایگاه داده پارامترهای کیفیت هوا

شکل ۵، مؤلفه‌های نرم‌افزاری مختلف تشکیل‌دهندهٔ سامانهٔ دسترسی و انتشار تعامل‌پذیر پارامترهای کیفیت هوا و ارتباط میان آنها را نمایش می‌دهد. مؤلفه‌های نرم‌افزاری تشکیل‌دهندهٔ سرویس‌های مکانی به تجزیه و تحلیل درخواست، بازیابی داده‌های مورد درخواست و ایجاد خروجی متناسب با درخواست می‌پردازند. مؤلفه Constructor در سرویس WFS، پس از تجزیه و تحلیل درخواست، داده‌های مربوط به پارامترهای اندازه‌گیری، واحد اندازه‌گیری، زمان مشاهده، سنجنده و ایستگاه پایش را از جدول‌های مرتبط، بازیابی می‌کنند و سپس برمبنای ساختار طراحی‌شده برای ارائه اطلاعات، به درخواست‌کننده پاسخ مناسب می‌دهند.

مؤلفه Painter در سرویس WMS، برمبنای پارامترهای ارسالی، داده‌های مورد نیاز را بازیابی می‌کند و سپس به تولید تصویری در فرمت JPG و PNG و SVG[1] می‌پردازد. به‌منظور ارائه گویاتر اطلاعات، سرویس WMS قادر است لایه‌های مناطق و نواحی شهر تهران را نیز ارائه دهد. همچنین با توجه به استفاده از استانداردهای WFS و WMS، سایر منابع داده مکانی نیز به آسانی با سامانهٔ شرح و بسط داده شده در پژوهش حاضر تلفیق‌پذیرست. نکته دیگر در معماری در نظر گرفته شده، ارتباط میان سرویس‌های WMS و WFS است. در پیاده‌سازی انجام شده در تحقیق حاضر، به‌منظور بازیابی داده، سرویس WMS می‌تواند به‌صورت مستقیم و یا با استفاده از سرویس WFS به بازیابی داده از پایگاه داده بپردازد. با توجه به ساختار فرمت SVG (که فرمتی متنی و براساس XML است) سرویس WMS برای تولید تصویر به فرمت SVG ابتدا با استفاده از سرویس WFS داده‌های مورد نیاز را به‌صورت GML بازیابی می‌کند و سپس به کمک مؤلفه نرم‌افزاری Painter و با استفاده از فناوری XSLT[2] فرمت GML را به SVG تبدیل می‌کند و به



شکل ۵. مؤلفه‌های نرم‌افزاری و ارتباط آنها با یکدیگر در سامانهٔ پیشنهادی

1. Scalable Vector Graphics
2. Extensible Stylesheet Lanaguage for Transformation

درخواست‌کننده پاسخ می‌دهد. فناوری XSLT ابزارهایی را به‌منظور تبدیل فرمت‌هایی که برمبنای XML هستند به یکدیگر و به‌صورت بهینه فراهم می‌آورد (Antoniou and Tsoulos, 2006). به‌منظور ارائه تصویر در فرمت‌های JPG و PNG و با توجه به ساختار این دو فرمت (فایل باینری)، سرویس WMS به‌صورت مستقیم اقدام به بازیابی داده‌ها از پایگاه داده می‌کند.

همان‌گونه که پیش از این عنوان گردید، پایگاه داده پارامترهای کیفیت هوا با استفاده از سامانهٔ مدیریت پایگاه داده SQL Server 2005 پیاده‌سازی گردید. مؤلفه‌های نرم‌افزاری تشکیل‌دهنده دو سرویس WMS و WFS به کمک فناوری ASP.NET 2.0 ایجاد گردیدند.

به‌منظور آزمون عملی سرویس‌های پیشنهادی، دو سیستم نرم‌افزاری به‌صورت رومیزی[1] و تحت وب ایجاد گردید. سامانهٔ اول شامل نرم‌افزاری رومیزی بر پایه سیستم عامل ویندوز و به کمک سکوی برنامه‌نویسی NET 2.0 ایجاد گردید. این نرم‌افزار قادر است تا با معرفی شرایط منطقی و مقایسه‌ای مختلف، اقدام به بازیابی داده‌ها از سرویس WFS کند. همان‌گونه که در شکل ۶ نشان داده شده است، این نرم‌افزار در حال ارسال درخواست بازیابی مقدار پارامتر مونوکسید کربن در تاریخ 5/5/2007 از ایستگاه اقدسیه است.

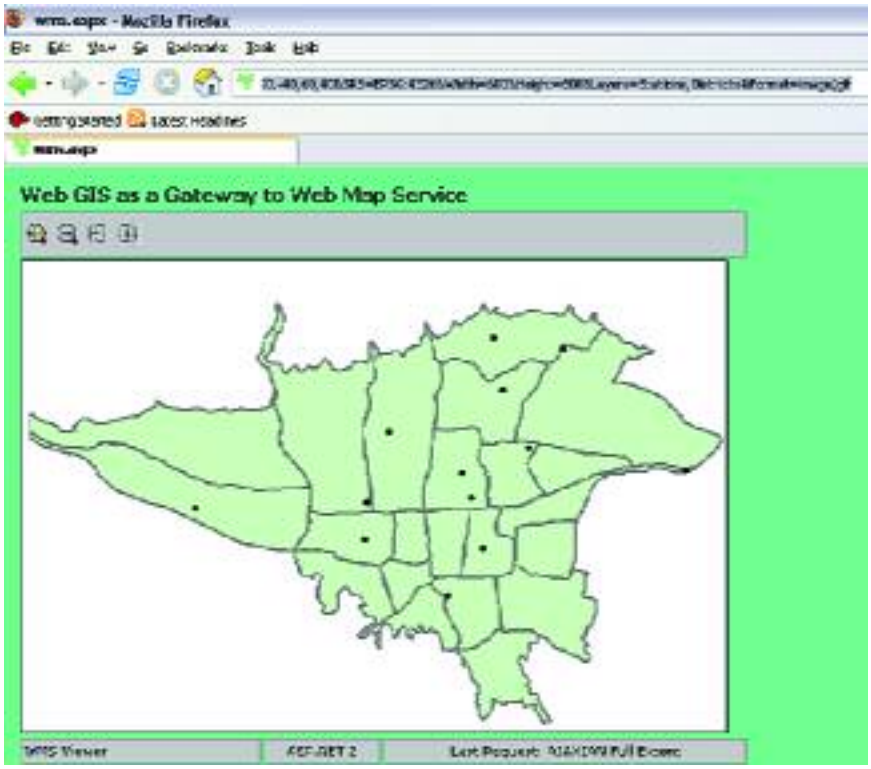
نرم‌افزار مذکور قادر است تا داده‌های بازیابی‌شده را در فرمت GML و به‌صورت درختی نمایش دهد. شکل ۷، پاسخ سرویس WFS به درخواست نشان داده شده در شکل ۶ را نمایش می‌دهد.

در سامانه دوم و به‌منظور استفاده از سرویس WMS، برنامهٔ کاربردی‌ای تحت وب به کمک فناوری ASP.NET 2.0 و زبان JavaScript ایجاد گردید (شکل ۸). این برنامه کاربردی تنها دارای ابزارهای نمایشی است. ابزارهای موجود در این برنامه کاربردی صرفاً درخواست کاربر را به درخواست GetMap تبدیل می‌کند و به سرویس WMS ارسال می‌دارد. سپس به کمک فناوری AJAX[2] تصویر بازیابی شده از سرویس WMS بدون ایجاد صفحه جدید (بدون Refresh شدن مرورگر)، در قسمت نقشه برنامه کاربردی نمایش داده می‌شود.

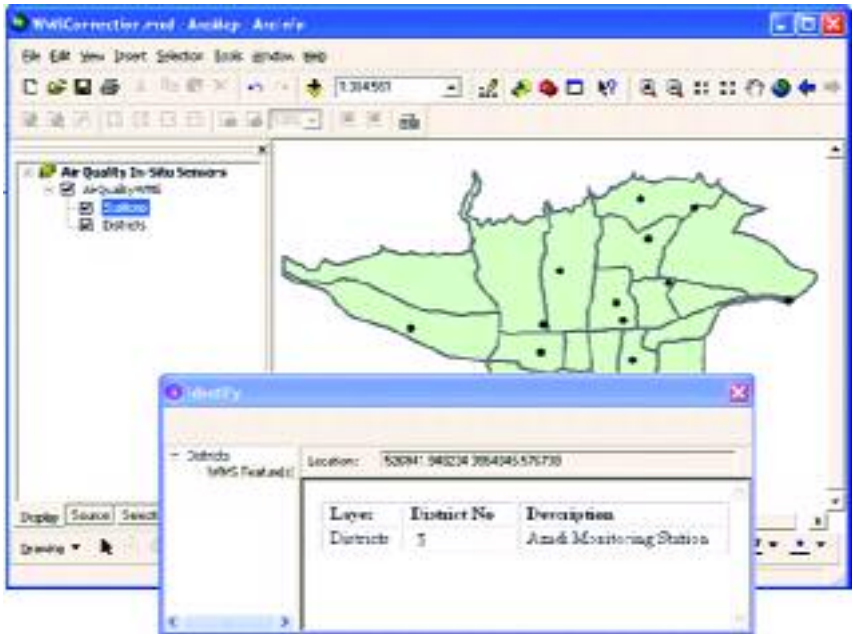
شکل ۶. نرم‌افزار درخواست‌کنندهٔ داده‌ها از سرویس WFS

1. Desktop
2. Asynchronous JavaScript And Xml

شکل ۷. نمایش درختی پاسخ سرویس WFS



شکل ۸. برنامه کاربردی تحت وب به‌منظور استفاده از WMS



شکل ۹. نمایش نقشه تولید شده به‌وسیله WMS و ابزار شناسایی توسعه داده شده در محیط ArcGIS Desktop

در پژوهش حاضر با توجه به امکان استفاده از سامانهٔ پیاده‌سازی‌شده در نرم‌افزارهایی که امکان توسعه داشته باشند (به کمک امکانات ماکرونویسی و توسعه)، با استفاده از توسعه نرم‌افزار ArcGIS (به کمک توابع ArcObjects)، ابزاری به‌منظور نمایش و بازیابی اطلاعات از سرویس WMS و WFS ایجاد گردید؛ بدین ترتیب که تصویر ایجاد شده از سرویس WMS در نرم‌افزار ArcMap نمایش داده می‌شود و ابزار شناسایی توسعه داده شده به کاربر این اجازه را می‌دهد که با کلیک بر روی نقشه نمایش داده شده، اطلاعات مربوط به نام منطقه شهری و ایستگاه پایش موجود در آن منطقه را ببیند.

۷- نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر استفاده از سرویس‌های مکانی استاندارد به‌منظور دسترسی و انتشار داده‌های پارامترهای کیفیت هوا به‌صورت تعامل‌پذیر ارزیابی گردید. فقدان تعامل‌پذیری در سطوح داده و دسترسی، سبب می‌گردد که نتوان به‌صورت خودکار از داده‌های پارامترهای کیفیت هوا استفاده کرد. پیشنهاد پژوهش حاضر استفاده از سرویس‌های WMS و WFS برای دسترسی به پارامترهای کیفیت هوا در ساختار رویداد ـ مبنای ایجاد شده به‌وسیله GML و O&M به‌منظور انتقال و به اشتراک‌گذاری داده‌های پارامترهای کیفیت هوا باعث به‌وجود آمدن تعامل‌پذیری داده‌ای می‌گردد. همچنین استفاده از سرویس‌های استاندارد WMS و WFS روش استانداردی به‌منظور دسترسی به داده‌های مذکور را فراهم می‌آورد و در نتیجه تعامل‌پذیری دسترسی امکان‌پذیر می‌گردد. همچنین در پژوهش حاضر، مشاهدات پارامترهای کیفیت هوا با توجه به ماهیت مکانی ـ زمانی بودن آنها، براساس مدل رویداد ـ مبنای استاندارد O&M مدل‌سازی گردید. برمبنای پیشنهاد ارائه شده در این تحقیق، پایگاه دادهٔ پارامترهای کیفیت هوا منطبق با مدل‌سازی انجام شده و سرویس‌های مکانی مورد نظر پیاده‌سازی گردید. به‌منظور آزمون تعامل‌پذیر بودن سرویس‌های توسعه داده شده، دو برنامهٔ رومیزی و تحت وب و همچنین یک ابزار در نرم‌افزار ArcGIS پیاده‌سازی شدند. با توجه

به استاندارد بودن، توسعه‌پذیری و تعامل‌پذیری، استفاده از راه‌حل ارائه شده در پژوهش حاضر، روش مناسبی برای استفاده بهینه و گسترده از داده‌های کیفیت هوا به‌نظر می‌رسد. درواقع نقطه تمایز این تحقیق با کارهای مشابه صورت گرفته، ایجاد فرمت و سازوکار دسترسی به داده‌های کیفیت هوا با رویکرد تعامل‌پذیری است. با توجه به اهمیت محاسبه شاخص‌ها و انجام تحلیل‌های مختلف بر روی داده‌های کیفیت هوا، طراحی و پیاده‌سازی سرویس‌های پردازشی با رویکرد مطرح‌شده در پژوهش حاضر (استاندارد بودن) و به‌ویژه برمبنای استاندارد (Web Processing Service) WPS از سازمان OGC می‌تواند زمینه‌ای برای فعالیت‌های آتی پژوهشگران باشد.

۸- منابع

Antoniou, B. and Tsoulos, L., 2006, **The Potential of XML Encoding in Geomatics Converting Raster Images to XML and SVG**, Computers & Geosciences, Volume 32, Issue 2, March 2006, pp 184-194.

Botts, M., Percivall, G., Reed, C. and Davidson, J., 2006, **OGC Sensor Web Enablement: Overview and High Level Architecture**, an OGC White Paper, Available at: http://portal.opengeospatial.org/files/?artifact_id=4326.

Chena, N., Liping, D., Yua, G. and Mina, M., 2009, **A Flexible Geospatial Sensor Observation Service for Diverse Sensor Data Based on Web Service**, iSPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, Volume 64, Issue 2, March 2009, pp 234-242.

Cheng, W., Chen, Y., Zhang, J., Lyons, T., Pai, J. and Chang, S., 2007, **Comparison of the Revised Air Quality Index with the PSI and AQI indices**, Science of The Total Environment, Volume 382, Issues 2-3, 1 September 2007, pp 191-198.

Cox, S., 2006, **Observations and Measurements, an OGC Best Practices Paper**, Available at: http://portal.opengeospatial.org/files/?artifact_id=2316.

Drummond, J., Billen, R., Joao, E and Forrest, D., 2007, **Dynamic and Mobile GIS: Investigating Changes in Space and Time**, CRC Press, Taylor & Francis Group.

Frehner, M. and Brändlia, M., 2006, **Virtual Database: Spatial Analysis in a Web-based Data Management System for Distributed Ecological Data**, Environmental Modeling & Software, Volume 21, Issue 11, November 2006, pp. 1544-1554.

Ho, C., Robinson, A., Miller, R. and Davis, M., 2005, **Overview of Sensors and Needs for Environmental Monitoring, Sensors Journal**, Issue 5, pp 4-37.

Horsburgha, J., Tarbotona, D., Piaseckib, M., Maidmentc, D., Zaslavskyd, I., Valentined, D. and Whitenacked, T., 2009**, An Integrated System for Publishing Environmental Observations Data**, Environmental Modelling & Software, Volume 24, Issue 8, August 2009, pp 879-888.

Lake, R., 2005, **The Application of Geography Markup Language (GML) to the Geological Sciences. Computers & Geosciences**, Volume 31, Issue 9, November 2005, pp 1081-1094.

Lake, R., Burggraf, D., Trinic, M. and Rae, L., 2004, **Geography Markup Language**, Chichester, England, John Wiley and Sons.

Langran, G., 2003, **Issues of Implementing a Spatiotemporal System**, International Journal of Geographical Information Systems, vol. 7(4), pp. 305–314.

Longley, P., Goodchild, M., Maguire, D. and Rhind, D., 2005, **Geographic Information Systems and Sciences**, Wiley Publications.

OGC, 2006, Open GIS Web Map Service 1.3 implementation specification.

OGC, 2005, Open GIS Consortium Web Feature Service implementation specification 1.1.0.

Sohrabinia, M. and Khorshiddoust, M., 2007, **Application of Satellite Data and GIS in Studying Air Pollutants in Tehran, Habitat International**, Volume 31, Issue 2, June 2007, pp 268-275.

Vienneau, D., De Hoogha, K. and Briggs, D., 2009, **A GIS-based Method for Modelling Air Pollution Exposures Across Europe**, Science of The Total Environment, Volume 408, Issue 2, 20 December 2009, pp 255-266.

Worboys, M. F., 2005, **Event-oriented Approaches to Geographic Phenomena**, International Journal of Geographical Information Science, vol. 19, no. 1, pp 1–28.

Zhang, J., Gong, J., Lin, H., Wang, G., Huang, J., Zhu, J., Xu, B. and Teng, J., 2007**, Design and Development of Distributed Virtual Geographic Environment System based on Web Services**, Information Sciences, Volume 177, Issue 19, 1 October 2007, pp. 3968-3980.